QUAND L’ESPACE POLLUE LE CIEL



- 2025 : record absolu de lancements orbitaux
- Des milliers de satellites rentrent dans l’atmosphère
- Une pollution méconnue, en haute altitude

UNE CHEMINÉE DE 100 KM DE HAUT



- La fusée traverse toutes les couches d’air
- Ses rejets arrivent directement en altitude
- Là-haut, aucune pluie ne fait le ménage

QUATRE RECETTES DE CARBURANT



- Kérosène : beaucoup de suie
- Hydrogène : surtout de la vapeur d’eau
- Poudre et hydrazines : chlore, alumine, toxiques

LA SUIE DES FUSÉES DE SPACE X, UN PARASOL NOIR



- Suie de fusée : 500 fois plus réchauffante
- Elle séjourne plusieurs années en altitude
- Elle réchauffe la haute atmosphère

CHLORE ET ALUMINE, LA POUDRE QUI RONGE



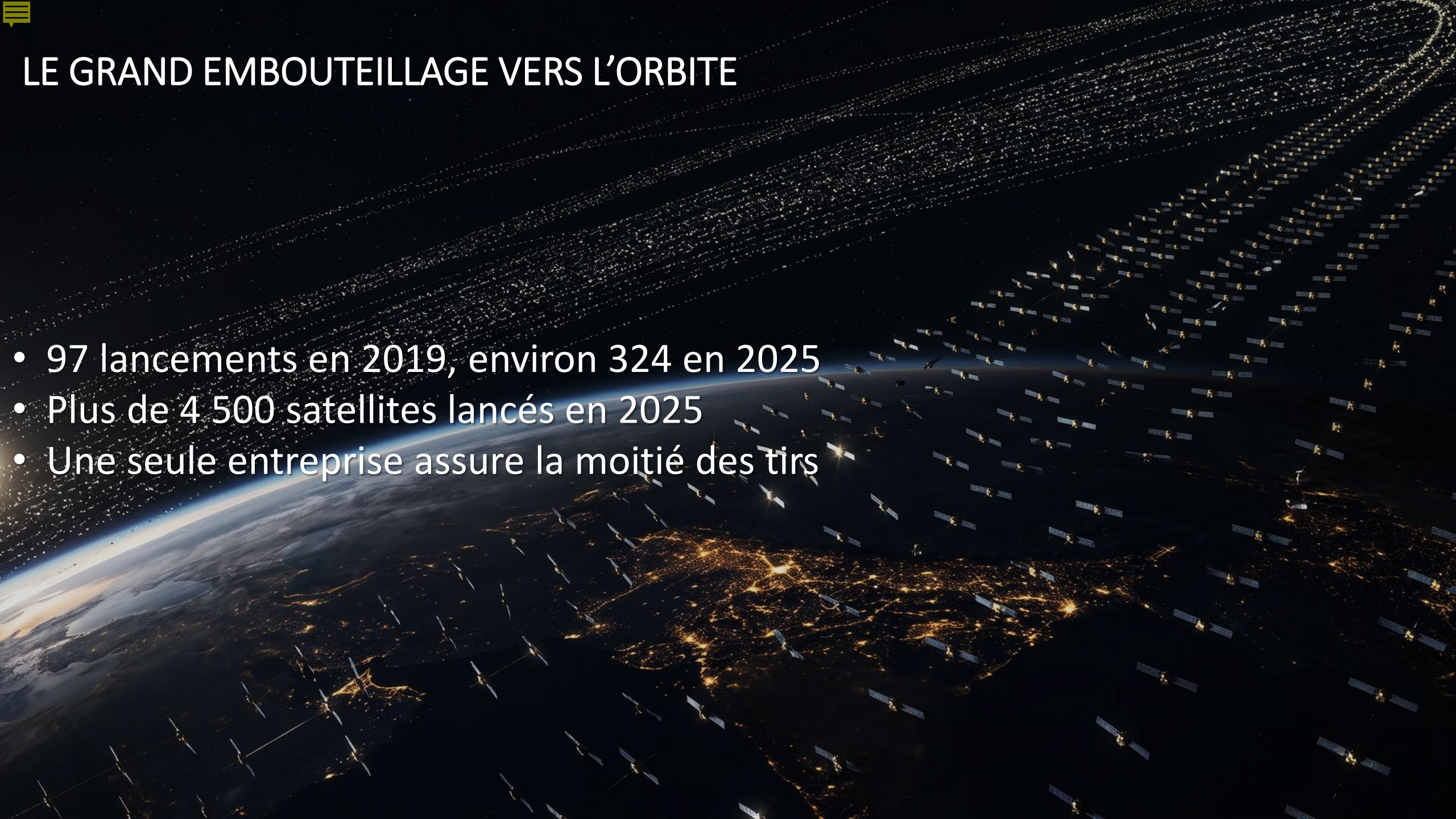
- Les propulseurs à poudre libèrent du chlore
- Le chlore détruit l’ozone en chaîne
- Un « mini-trou » d’ozone dans chaque panache

L’OZONE, UN BOUCLIER EN CONVALESCENCE



- Encore 2 % sous son niveau d’avant-CFC
- Fusées : jusqu’à 0,29 % de perte simulée
- Moteurs à hydrogène : à peine 6 % des tirs

LE GRAND EMBOUTEILLAGE VERS L'ORBITE



- 97 lancements en 2019, environ 324 en 2025
- Plus de 4 500 satellites lancés en 2025
- Une seule entreprise assure la moitié des tirs

DES ÉTOILES FILANTES FABRIQUÉES



- Durée de vie d’un satellite : environ 5 ans
- En 2025, 1 à 2 Starlink rentrés par jour
- Le satellite disparaît, sa matière reste

DES EMPREINTES MÉTALLIQUES DANS LA STRATOSPHÈRE



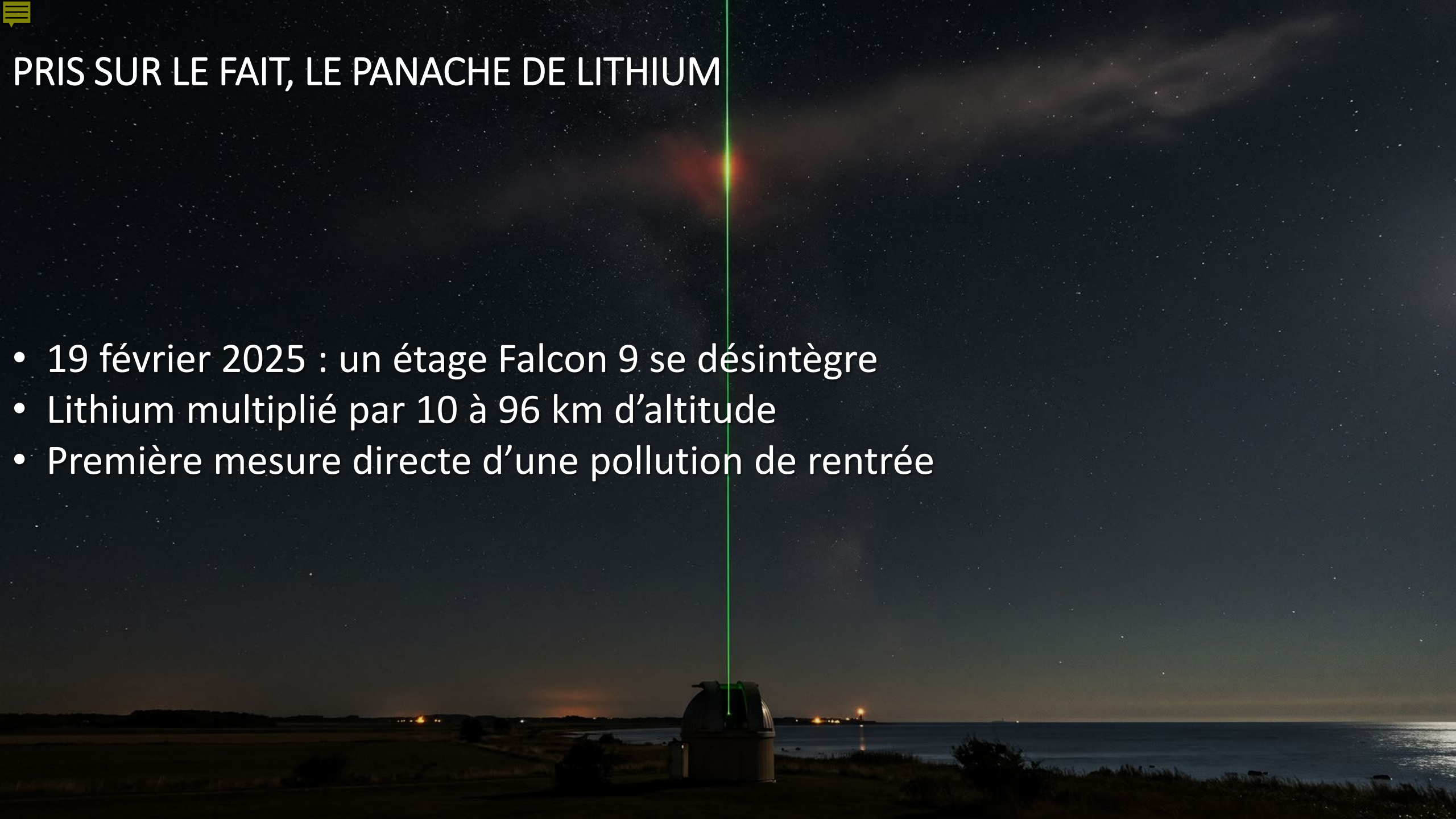
- 10 % des particules contiennent des métaux spatiaux
- Plus de 20 éléments, dont niobium et hafnium
- Jusqu’à 50 % d’ici quelques décennies

L’ALUMINE, UN CATALYSEUR INFATIGABLE



- Un satellite de 250 kg : 30 kg d’alumine
- 17 tonnes en 2022, peut-être 360 demain
- Jusqu’à 30 ans pour atteindre l’ozone

PRIS SUR LE FAIT, LE PANACHE DE LITHIUM



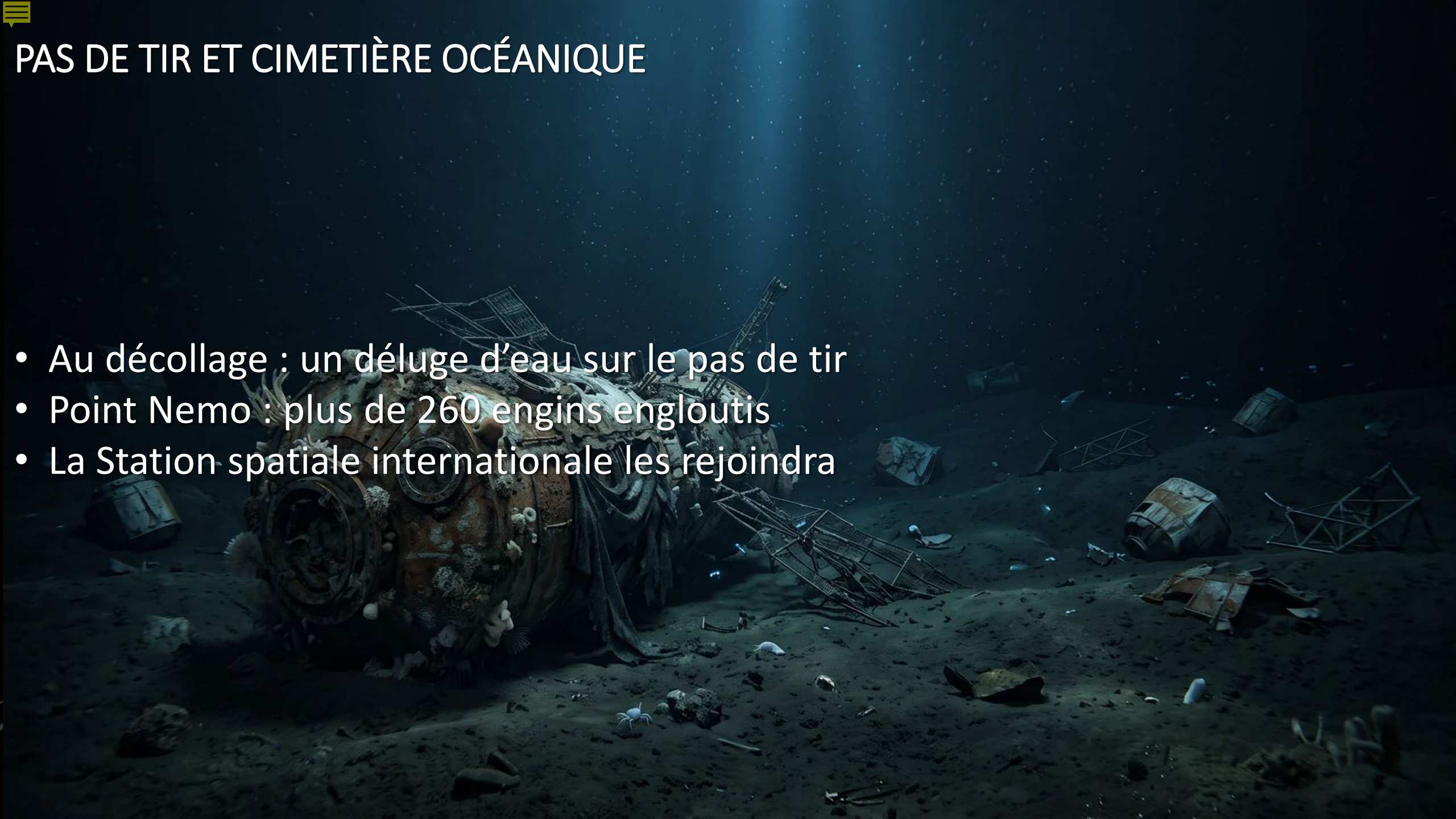
- 19 février 2025 : un étage Falcon 9 se désintègre
- Lithium multiplié par 10 à 96 km d’altitude
- Première mesure directe d’une pollution de rentrée

CE QUI RETOMBE SUR LA TERRE FERME

- Chine : des étages tombent près des villages
- Kazakhstan : l’héritage toxique de l’heptyl
- Des fumées orange, toxiques et cancérigènes



PAS DE TIR ET CIMETIÈRE OCÉANIQUE



- Au décollage : un déluge d’eau sur le pas de tir
- Point Nemo : plus de 260 engins engloutis
- La Station spatiale internationale les rejoindra

FAUT-IL S’ALARMER ? LES PISTES



- Aujourd’hui : un impact encore faible
- Aucune règle internationale sur ces rejets
- Mesurer, changer de carburants et de matériaux

MERCI DE VOTRE ATTENTION



SOURCES

- Murphy D.M. et al., « Metals from spacecraft reentry in stratospheric aerosol particles », PNAS, 2023.
- Ferreira J.P. et al., « Potential Ozone Depletion From Satellite Demise During Atmospheric Reentry in the Era of Mega-Constellations », Geophysical Research Letters, 2024.
- Revell L.E. et al., « Near-future rocket launches could slow ozone recovery », npj Climate and Atmospheric Science, 2025.
- Ryan R.G. et al., « Impact of Rocket Launch and Space Debris Air Pollutant Emissions on Stratospheric Ozone and Global Climate », Earth's Future, 2022.
- Wing R. et al., « Measurement of a Lithium Plume from the Uncontrolled Re-entry of a Falcon 9 Rocket », Communications Earth & Environment.

- Textes : Claude Opus 5.5
- Illustrations : Google Gemini 3.8 Flash